Разработка математической модели перспективного дизельного окислительного нейтрализатора

Химич В.Л., Хрипач Н.А., Лежнев Л.Ю., Папкин Б.А., Шустров Ф.А., Иванов Д.А., Сонкин В.И., Папкин И.А.
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

ВВЕДЕНИЕ

Для выполнения дизельным двигателем перспективных экологических норм Евро-5, вводимых в России с 2014 г., а в дальнейшем Евро-6 необходимо иметь 4-компонентную систему нейтрализации отработавших газов (ОГ) для контроля выбросов CO, CH, NOx и дисперсных частиц (ДЧ). Такая система включает дизельный окислительный нейтрализатор (ОН), сажевый фильтр и селективно-восстановительный нейтрализатор. ОН является важным компонентом такой системы. Помимо окисления CO, CH, ДЧ он участвует в пассивной регенерации сажевого фильтра, предотвращая рост противодавления на выпуске, который ведет к потере мощности и топливной экономичности дизеля. Компьютерное моделирование физических и химических процессов, происходящих в ОН помогает с минимальными затратами найти наиболее рациональные конструктивные решения, ускорить процесс разработки.

Целью работы является разработка и проверка достоверности математической модели (ММ) перспективного дизельного ОН.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

ММ дизельного ОН базируется на физической и химической теориях, которые описывают химическую кинетику и характеристики переноса тепла и массы в одномерной квазистационарной постановке. ММ учитывает: конвективный перенос тепла и массы от ОГ к поверхности катализатора; гетерогенные химические реакции на поверхности катализатора; тепловые потери в окружающую среду и теплопроводность вдоль ОН. Влияние гомогенных реакций в газовой фазе мало и не учитывается. Отработавшие газы состоят из O2, CO2, H2O, N2, CO, NO, NO2 и CH.

Основные уравнения ММ рассматривают сохранение массы, энергии и химических веществ в одном канале ОН. Неравномерность распределения потока на входе не учитывается, а при описании переноса массы и энергии между газом и твердой поверхностью используются эмпирические коэффициенты.

В ММ дизельного ОН учитываются три основные каталитические реакции:

CO + ½ O2 → CO2

C3H6 + 9/2 O2 → 3 CO2 + 3 H2O

NO + ½ O2 → NO2

Граничными условиями для дифференциальных уравнений ММ являются концентрации компонентов ОГ и температура ОГ на входе в дизельный ОН.

Начальные условия для температуры на стенке катализатора выбраны равными температуре окружающей среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проверки достоверности ММ дизельного ОН результаты его моделирования сравнивались с соответствующими экспериментальными данными, приведенными в работе [1]. Эксперименты были выполнены при стендовых испытаниях 6-цилиндрового рядного дизеля рабочим объемом 8,1 л с турбонаддувом и промежуточным охлаждением воздуха, мощностью 175 кВт при 2200 мин-1, оборудованном ОН. В ходе испытаний измерялись концентрации CO, CH, NO и NO2 в ОГ на различных установившихся скоростных, нагрузочных и тепловых режимах.

В качестве объекта моделирования использовался цилиндрический кордиеритовый нейтрализатор диаметром 267 мм, длиной 152 мм с плотностью ячеек 300 на дюйм2, объемом 8,1 л. При расчетах принималось, что теплопроводность кордиерита равна 1,255 Вт/м•К, объемная плотность - 0,44 г/см3, удельная теплоемкость – 836,8 Дж/кг•К. В процессе моделирования определялась зависимость концентрации CO и CH на выходе из нейтрализатора, а также коэффициента конверсии NO в NO2 от температуры.

Сравнение результатов математического моделирования ОН с данными испытаний подтверждают достоверность ММ физико-химических процессов, происходящих в этом катализаторе. На режиме 1400 мин-1 в диапазоне температур 230-490°C расхождение результатов моделирования и испытаний не превышают 2-3%. Однако при снижении температуры до 130-170°C моделирование дает завышенные на 5-10% значения концентраций CO и CH, и на 7,5% - концентраций NO, что отражает влияние упрощений принятых в расчетной ММ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнительного исследования экологических характеристик дизельного ОН подтверждают удовлетворительную достоверность разработанной ММ.

Работа по математическому моделированию перспективного дизельного ОН проводится при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Triana A. P., Johnson J. H., Yang S. L., Baumgard K. J. «An Experimental and Numerical Study of the Performance Characteristics of the Diesel Oxidation Catalyst in a Continuously Regenerating Particulate Filter», SAE Paper, № 2003-01-3176, 2003.